

Vanddamppermeabilitet (kopforsøg)

Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser
af alternative isoleringsmaterialer



ERNST JAN DE PLACE HANSEN

KURT KIELSGAARD HANSEN

Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer
Danmarks Tekniske Universitet



Vanddamppermeabilitet (kopforsøg)

Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser
af alternative isoleringsmaterialer

Ernst Jan de Place Hansen
Kurt Kielsgaard Hansen

December 1999

Vanddamppermeabilitet (kopforsøg)
Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser
af alternative isoleringsmaterialer

Kgs. Lyngby

ISBN 87-7740-264-2

ISSN 1396-2167

Electronic Publication

www.bkm.dtu.dk

VANDDAMPPERMEABILITET (KOPFORSØG)

Forord

Den foreliggende rapport er en del af rapporteringen for projektet "Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer" finansieret af Energistyrelsen (J.nr. 75664/98-0034). Projektet er udført i et samarbejde mellem Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer (BKM) og Institut for Bygninger og Energi (IBE), DTU. De øvrige rapporter omhandler

- Sorptionsisotermer (BKM)
- Kapillarsugning (BKM)
- Fugtbuffering (BKM)
- Varmeledningsevne ved forskellige fugtforhold (IBE)
- Egenkonvektion i fåreuld og papirisolering (IBE)
- Beregnede fugtforhold i konstruktioner (IBE)
- Produktionsprocesser og hygrotermiske egenskaber for isoleringsmaterialer - leverandør/producentoplysninger (BKM)
- Hovedrapport (BKM & IBE)

Den foreliggende rapport omhandler målinger af fugtmodstandstal og vanddamp-permeabilitetskoefficienter.

Lyngby, 14. december 1999

Ernst Jan de Place Hansen

Sammenfatning

Fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficienter for en række alternative og traditionelle isoleringsprodukter er bestemt ved 23°C. Som målebetingelser er benyttet 50% RF i målekammeret og 1%RF (tørkop) henholdsvis 94% RF i koppen (vådkop). Der er målt på en type perlite (ekspanderet vulkansk aske) fra Nordisk Perlite, tre typer af papirisolering (en type fra Ekofiber og to typer fra Miljø Isolering), en type af fåreuld (Herawool), en type af hør (Heraflax) samt to typer af mineraluld fra henholdsvis Rockwool og Glasuld. Prøvetykkelsen har været 110 mm (Perlite, papirisolering) pakket til den af leverandøren anbefalede densitet henholdsvis leveringstykkelse (fåreuld, hør, mineraluld). Desuden er Ekofiber undersøgt ved to densiteter (40 kg/m³ og 65 kg/m³) og den ene type fra Miljø Isolering ved to tykkelser (110 mm og 50 mm) for at studere henholdsvis densitetens og prøvetykkelsens betydning for fugtmodstandstallet og vanddamppermeabilitetskoefficienten. En metode til at foretage korrektion for luftlag i koppen og overgangsmodstande på prøveemnets to sider gennemgås. Fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficienter angives dels som målte dels som korrigerede værdier. De opnåede resultater er sammenlignet med resultater fra litteraturen for mineraluld og papirisolering.

Indholdsfortegnelse

1	Formål	1
2	Fremgangsmåde	1
3	Beregninger	4
3.1	Beregning af vanddamppermeabilitetskoefficienter	4
3.2	Korrektion for luftlagstykkelse og overgangsmodstande	5
4	Undersøgte produkter	7
5	Måleresultater	7
6	Diskussion	10
7	Konklusion	11
8	Litteratur	12

Appendix A

Fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficienter - enkeltresultater 4 sider

Appendix B

Rapport over kopforsøg med Heraflax SF 040 (hør) - materialetykkelse 30 mm 7 sider

Appendix C

Betydning af materialetykkelse for fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficient
1 side

VANDDAMPPERMEABILITET (KOPFORSØG)

1. Formål

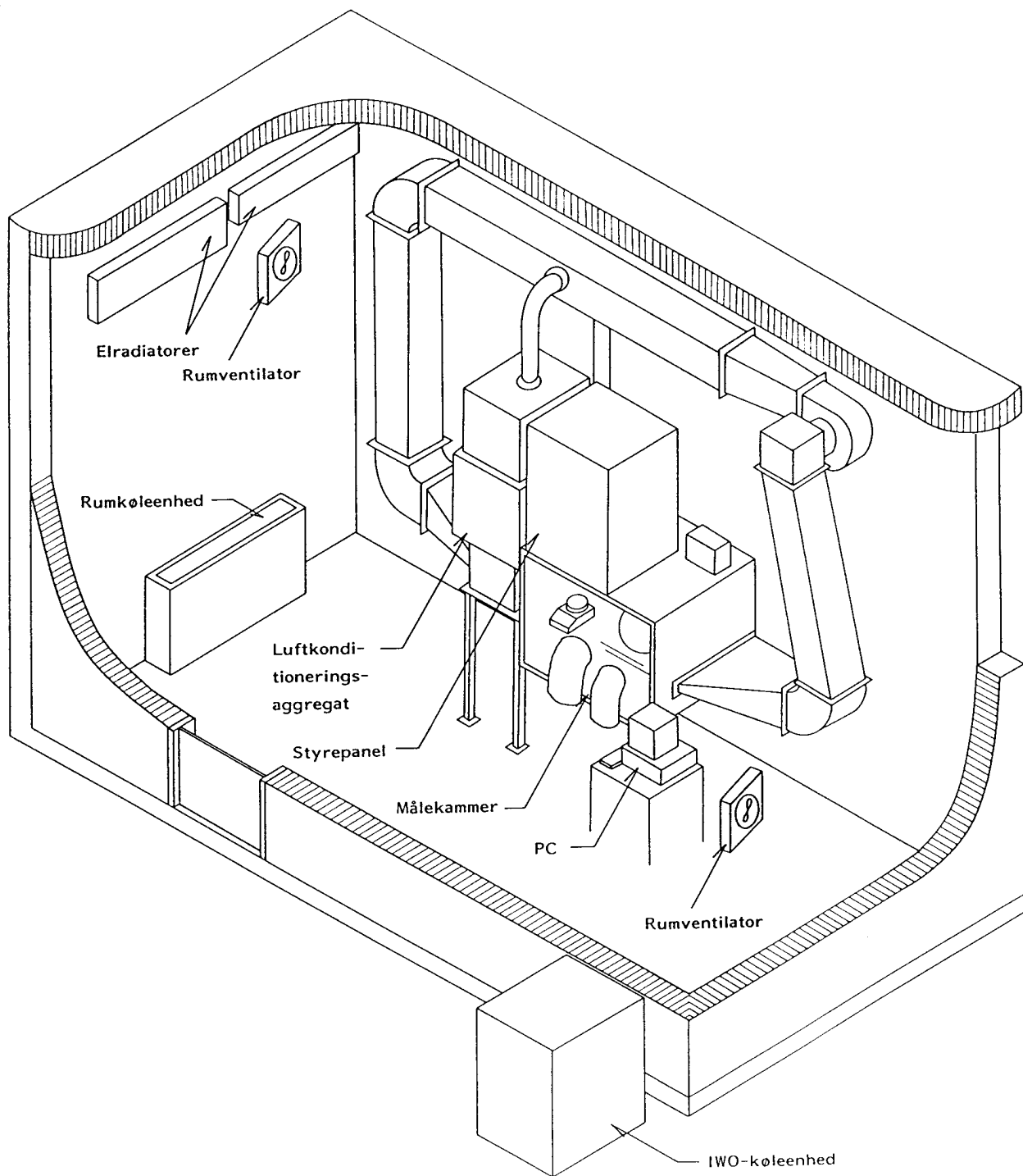
Formålet med kopforsøgene er at bestemme vanddamppermeabilitetskoefficienter for de undersøgte alternative isoleringsmaterialer under isoterme forhold. Målingerne udføres som tørkopmåling (1%/50% RF) og vådkopmåling (94%/50% RF) ved 23°C.

2. Fremgangsmåde

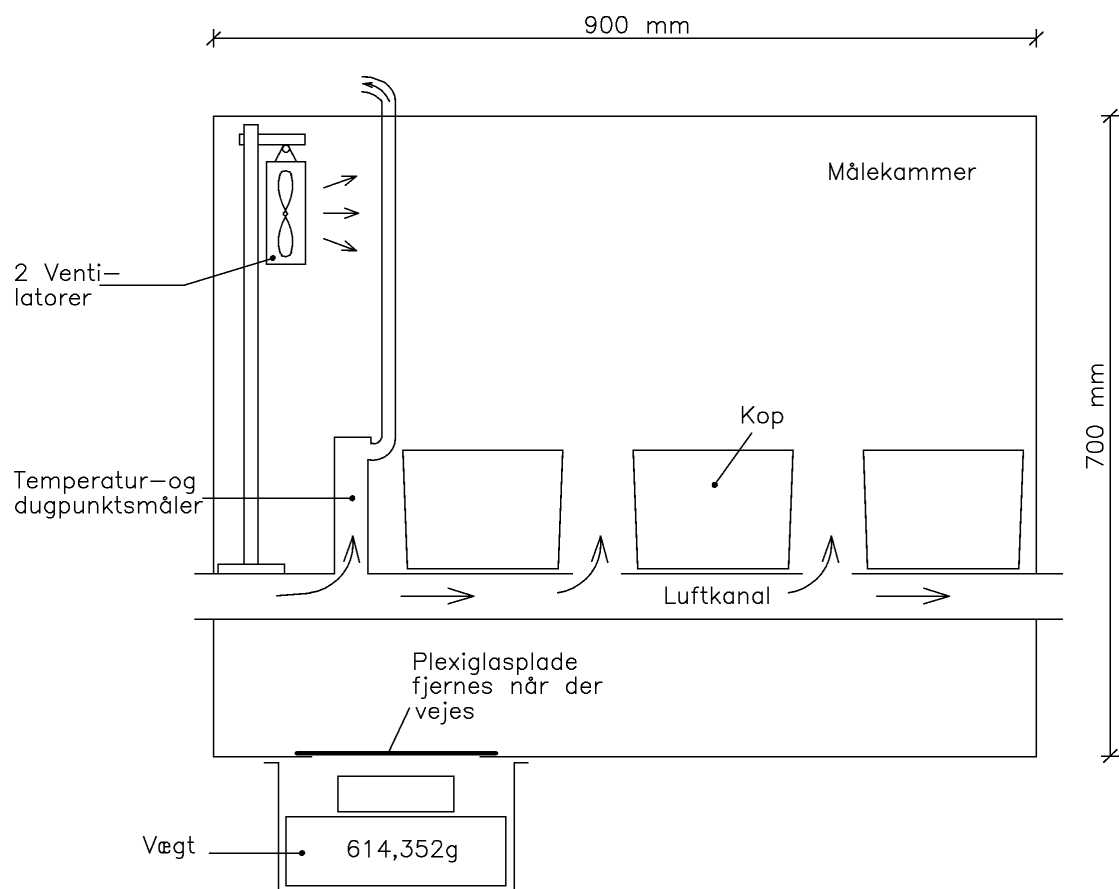
Bestemmelse af vanddamppermeabilitetskoefficienten sker i BKM's såkaldte kopudstyr, bestående af et målekammer anbragt i et rum, der er kraftigt isoleret for at reducere klimapåvirkninger udefra. Desuden er rummet udstyret med radiatorer, rumkøleenhed og ventilatorer, som skitseret i figur 1. I målekammeret opretholdes $50 \pm 2\%$ RF og $23.0 \pm 0.3^\circ\text{C}$, der registreres via en temperatur- og dugpunktsmålert på en PC. I målekammeret findes også ventilatorer til at sikre en tilstrækkelig luftcirkulation. Målekammeret er skitseret på figur 2.

Metoden kaldes et kopforsøg, fordi det undersøgte materiale anbringes som et "låg" på en kop. Forinden er anbragt en mængde af en given mættet saltopløsning eller et sorptionsmiddel i koppen til at styre RF. Afhængig af om RF i koppen er højere eller lavere end i klimakammeret, vil der ske en fugttransport ud af koppen eller ind i koppen under forsøget. Dette registreres ved løbende at veje koppen og notere sammenhørende værdier af tidspunkt og masse. Der vil med tiden etableres stationære forhold for fugttransporten, aflæst ved en retliniet sammenhæng mellem tid og masse. Hældningen af denne linie udtrykker materialets evne til at transportere fugt under de givne forhold og kan direkte omregnes til en vanddamppermeabilitetskoefficient, som beskrevet i /1/, /2/, /3/. Beregningerne er vist nedenfor.

Prøverne, der kan være løsfyldprodukter eller sammenhængende materiale, er anbragt i kopper fremstillet af plastspande med en indvendig diameter på 180 mm i toppen og 172 mm i bunden, figur 3. Forinden er fyldt en saltopløsning eller et sorptionsmiddel i spanden til en højde af 10 mm fra bunden. Et metalnet med en maskevidde på 4 mm samt et polyesternet med en maskevidde på $73 \mu\text{m}$ er anbragt 25 mm fra bunden. Luftlaget mellem saltopløsning og metalnet bliver således 15 mm. Polyesternetet benyttes primært aht. løsfyldprodukterne for at undgå at de falder gennem metalnettet. Tætning mellem materiale og spandens inderside sikres ved hjælp af dobbeltklæbende tape. Der laves forsøg med 135 mm og 75 mm høje kopper, dvs. en maksimal prøvetykkelse på 110 mm henholdsvis 50 mm.



Figur 1 Kopudstyr til bestemmelse af vanddamppermeabilitetskoefficienten for isoleringsmaterialer.

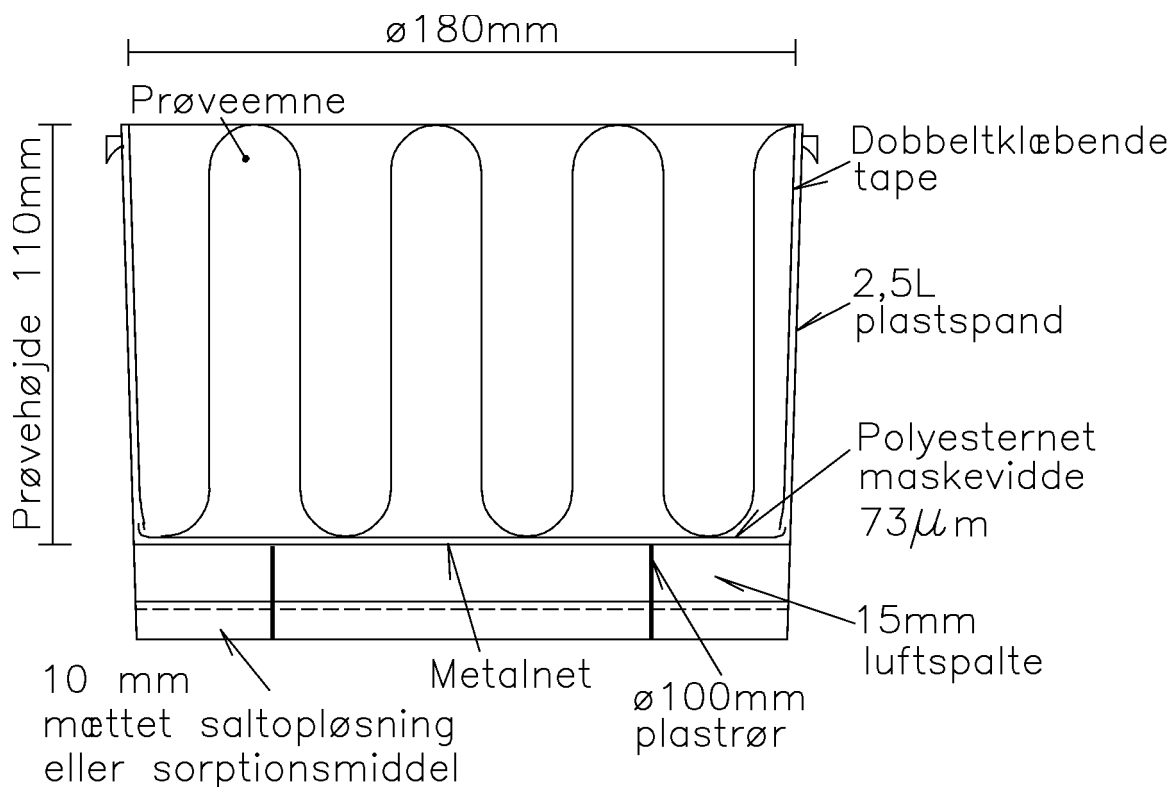


Figur 2 Målekammer med kopper, vægt og ventilatorer.

Målebetingelserne fremgår af tabel 1.

Tabel 1 Målebetingelser.

Målebetingelser	Målekammer	Kop
Vådkop - 50/94% RF	50% RF	94% RF (KNO_3)
Tørkop - 1/50% RF	50% RF	1% RF ($\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$)



Figur 3 Kop med prøveemne til bestemmelse af vanddamppermeabilitetskoefficienten.

3. Beregninger

3.1 Beregning af vanddamppermeabilitetskoefficienter

Under stationære forhold for fugttransport ind/ud af koppen kendes hældningen på kurven, der beskriver koppens masse som funktion af tiden. Med kendt eksponeringsareal for prøveemnet og kendt damptryk på prøveemnets to sider kan fugtmodstandstallet Z_p [$\text{Pa m}^2 \text{ s} / \text{kg}$] beregnes ved hjælp af (1), (2) jf. /1/, /2/, /3/.

$$Z_p = \frac{A \Delta p}{\alpha} \quad (1)$$

$$= \frac{A p_s (RF_{mk} - RF_{kop})}{\alpha} \quad (2)$$

hvor	A	= prøveemnets eksponeringsareal	$[\text{m}^2]$
	Δp	= forskel i damptryk på prøveemnets to sider	$[\text{Pa}]$
	α	= fugtstrøm, dvs. hældning på masse-tid kurven	$[\text{kg/s}]$
	p_s	= mætningsdamptryk	$[\text{Pa}]$
	RF_{mk}	= relativ luftfugtighed i målekammer	$[-]$
	RF_{kop}	= relativ luftfugtighed i kop	$[-]$

Med kendt tykkelse af prøveemnet kan vanddamppermeabilitetskoefficienten δ_p

[kg/(Pa· m·s)] beregnes som

$$\delta_p = \frac{L}{Z_p} \quad (3)$$

hvor L er prøveemnets tykkelse [m].

3.2 Korrektion for luftlagstykkelse og overgangsmodstande

I det følgende beskrives korrektion af Z_p og δ_p med hensyn til luftlag i koppen og overgangsmodstande på prøveemnets to sider, jf. /4/.

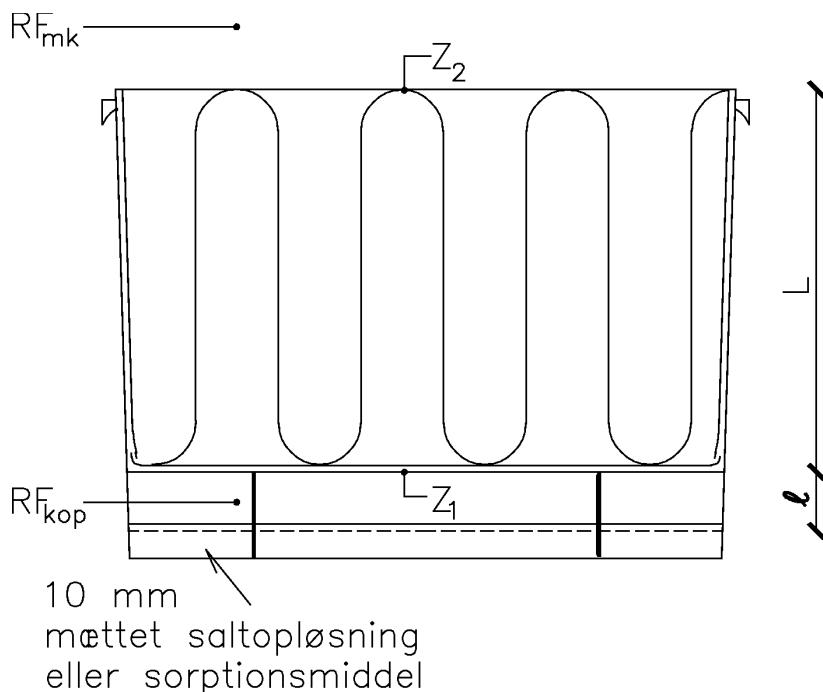
Formel (1) omskrives til

$$\alpha = \frac{A \Delta p}{Z_p} \Rightarrow \quad (4)$$

$$q = \frac{\Delta p}{Z_p} \quad (5)$$

hvor q er fugtstrøm pr. arealenhed [kg/(s m²)].

På figur 4 er vist en kop med overgangsmodstande Z_1 og Z_2 på prøveemnets to sider.



Figur 4 Kop med angivelse af overgangsmodstande Z_1 og Z_2 på prøveemnets to sider. L og l angiver prøveemnets tykkelse henholdsvis tykkelse af luftlaget i koppen.

Z_p i formel (1) - (4) er det totale, målte fugtmodstandstal bestående af bidrag fra selve emnet ($Z_{p,e}$), fra overgangsmodstande ved emnets over- og underside (Z_1, Z_2) samt fra modstanden af luftlaget i koppen (Z_a). Fugtstrømmen q kan udtrykkes som

$$q = \frac{\Delta p}{Z_{p,e} + Z_1 + Z_2 + Z_a} \quad (6)$$

Fugtmodstandstallet Z_a for et luftlag i koppen med tykkelsen l er $Z_a = l/\delta_a$ hvor δ_a er vanddamppermeabilitetskoefficienten i luft.

Overgangsmodstande kan findes vha. Lewis' lov, der udtrykker proportionaliteten mellem det konvektive varme- og fugtovergangstal, henholdsvis h_c og β_p , ved en grænseflade mod omgivende luft, /4/. Med anvendelse af det konvektive varmeovergangstal h_c fås det konvektive fugtovergangstal β_p [kg/(Pa s m²)] til

$$\beta_p = \frac{h_c}{R_v T \rho c_p} \quad (7)$$

hvor

h_c	= konvektivt varmeovergangstal	[W/(m ² K)]
R_v	= gaskonstant for vanddamp	[J/(kg K)]
ρ	= luftens densitet	[kg/m ³]
c_p	= luftens specifikke varmekapacitet	[J/(kg K)]
T	= luftens temperatur	[K]

Her er $h_c = 5.56 + 3.89 \cdot v$ hvor v er lufthastigheden [m/s] ved den betragtede overflade. Ved beregningen af Z_1 og Z_2 regnes med stillestående luft i koppen ($v_1 = 0$ m/s) henholdsvis $v_2 = 2.5$ m/s. Overgangsmodstanden (Z_1, Z_2) kan da beregnes som $Z = 1/\beta_p$. Med de angivne lufthastigheder fås $Z_1 = 0.026 \cdot 10^9$ (Pa·s·m²) / kg og $Z_2 = 0.013 \cdot 10^9$ (Pa·s·m²) / kg.

Den korrigerede vanddamppermeabilitetskoefficient $\delta_{p,e}$ [kg/(Pa m s)] for prøveemnet bliver således

$$\delta_{p,e} = \frac{L}{Z_{p,e}} \quad (8)$$

I BKM's kopudstyr måles løbende lufthastigheden v_2 , temperatur og RF i målekammeret. De opsamlede klimadata samt vejedata for kopperne behandles med PC-programmet KOPLYSE3 /2/, der i en udskreven rapport angiver ukorrigerede og korrigerede værdier for fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficient, jf. formel (1), (3), (6) og (8). Et eksempel på en udskrevet rapport fra KOPLYSE3 kan ses som appendix B.

4. Undersøgte produkter

For en oversigt over de undersøgte produkter og deres densitet mv. henvises til tabel 2 og 3 i resultatafsnittet. For en nærmere produktbeskrivelse/betegnelse henvises til /5/. Der udføres måling på tre parallelle prøveemner for hvert produkt for vådkop henholdsvis tørkop.

Løsfyldprodukter (Perlite, papirisolering): En materialemængde afvejes svarende til den densitet målingen skal foregå ved og fyldes i koppen så det ønskede volumen udfyldes svarende til den i /1/ specificerede tykkelse.

Sammenhængende produkter (fåreuld, hør, mineraluld): Et passende stort stykke skæres med en lille overstørrelse, så det slutter tæt til koppens indersider. Så vidt muligt benyttes kun 1 lag materiale. Ved produkter med en materialetykkelse mindre end 50 mm benyttes kopper med lille højde.

Af praktiske grunde benyttes forskellige prøvetykkelser til kopforsøgene for henholdsvis løsfyldprodukter og sammenhængende produkter. For at undersøge om det har nogen betydning, når resultaterne for de forskellige produkter skal sammenlignes, er der udført målinger på tre kopper uden isoleringsmateriale for at måle fugtmodstandstallet for selve koppen incl. polyesternet og metalnet. Af samme grund er målinger på Miljø Isolering - 1 (med salte) udført med to forskellige prøvetykkelser, 50 mm og 110 mm. I appendix C findes en beregning af prøvetykkelsens betydning baseret på disse målinger. Denne beregning kan i øvrigt betragtes som et alternativ til metoden beskrevet i afsnit 3.2 til bestemmelse af de korrigerede værdier for fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficienter.

5. Måleresultater

I tabel 2 og 3 angives middelværdier og spredninger for fugtmodstandstal (Z) og vanddamppermeabilitetskoefficienter (δ) med henholdsvis 94% RF (vådkop) og 1% RF (tørkop) i koppen. Værdierne angives såvel uden som med korrektion som beskrevet i afsnit 3.2. Enkeltresultater kan findes i appendix A. Som diameter er anvendt 180 mm ved beregning af eksponeringsarealet.

Materialet sætter sig lidt under forsøget. Sætning er vist principielt i figur 5. Størrelsen af sætningen i % af den oprindelige tykkelse er angivet i tabel 2 og 3.

I appendix C er udført beregninger for at undersøge betydningen af, at der ikke er anvendt én fast materialetykkelse i denne undersøgelse, men at den varierer fra 30 mm (hør) til 110 mm (løsfyldprodukter).

Tabel 2 Fugtmodstandstal og vanddampermeabilitetskoefficienter ved 23°C og en RF-gradient: 50% - 94% (vådkop).

Produkt	Densitet [kg/m ³]	Oprindelig tykkelse [mm]	Sætning under prøvning [%]	Z_p 10 ⁹ (Pa s m ²) / kg		δ_p 10 ⁻¹² kg / (Pa m s)	
				Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2) ($Z_{p,e}$)	Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2) ($\delta_{p,e}$)
Perlite SC (behandlet)	85	110	0	1.14 ± 0.15	1.02 ± 0.15	90 ± 12	103 ± 15
Ekofiber Vind	40	110	< 5	0.66 ± 0.04	0.58 ± 0.04	170 ± 10	203 ± 15
Ekofiber Vind	65	110	0	1.15 ± 0.02	1.03 ± 0.02	93 ± 2	110 ± 2
Miljø Isolering -1	40	110	5	0.62 ± 0.09	0.51 ± 0.09	177 ± 27	223 ± 43
Miljø Isolering -1	40	50	< 10	0.44 ± 0.05	0.33 ± 0.05	113 ± 13	153 ± 24
Miljø Isolering -2 (u.salte)	40	110	< 5	0.78 ± 0.13	0.66 ± 0.13	147 ± 23	173 ± 27
Hera wool NF 040 (u.støttefibre)	25	100	0	0.72 ± 0.14	0.60 ± 0.14	160 ± 35	190 ± 52
Heraflax SF 040	30	30	0	0.28 ± 0.11	0.16 ± 0.12	120 ± 50	150 ± 59
Rockwool A-batt	32	50	0	0.40 ± 0.05	0.28 ± 0.06	127 ± 17	183 ± 29
Glasuld 39	16	50	0	0.38 ± 0.09	0.27 ± 0.09	137 ± 36	155 ± 11

Note:

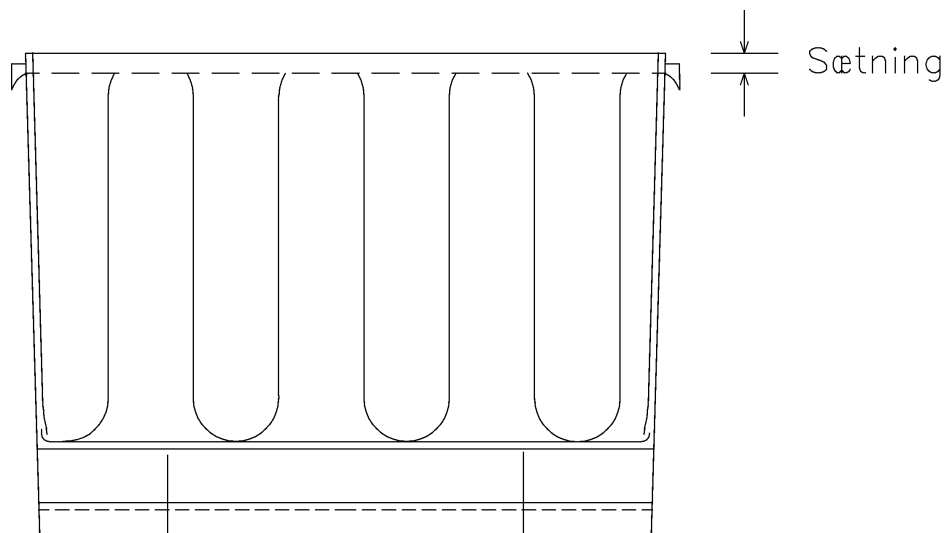
- Perlite er ekspanderet vulkansk aske, Ekofiber og Miljø Isolering er papirisoleringsprodukter, Hera wool er fåreuld, Heraflax er hør
- Tykkelsen af et prøveemne er enten produkttykkelsen ved levering (Hera wool, Heraflax, Rockwool og Glasuld) eller en tykkelse specificeret i /1/
- 1): Beregnet efter formel (1), jf. reference /1/, 2): korrigeret for luftlagstykkelse og overgangsmodstande, jf. formel (6) og (8)
- Værdier for fugtmodstandstal Z_p og permeabilitetskoefficient δ_p er middelværdier ± spredning (af 3 prøveemner)
- Luftlagstykkelse i koppen er 15 mm, lufthastighed over koppen er 2.5 m/s
- Glasuld og Heraflax er leveret som rullevarer

Tabel 3 Fugtmodstandstal og vanddampermeabilitetskoefficienter ved 23°C og en RF-gradient: 50% - 1% (tørkop).

Produkt	Densitet [kg/m ³]	Oprindelig tykkelse [mm]	Sætning under prøvning [%]	Z _p 10 ⁹ (Pa s m ²) / kg		δ _p 10 ⁻¹² kg / (Pa m s)	
				Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2) (Z _{p,e})	Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2) (δ _{p,e})
Perlite SC (behandlet)	85	110	0	1.01 ± 0.42	0.89 ± 0.42	113 ± 47	130 ± 64
Ekofiber Vind	40	110	< 5	0.82 ± 0.02	0.70 ± 0.02	133 ± 4	153 ± 5
Ekofiber Vind	65	110	0	0.96 ± 0.02	0.85 ± 0.02	113 ± 2	130 ± 3
Miljø Isolering -1	40	110	5	0.59 ± 0.10	0.48 ± 0.10	190 ± 34	210 ± 16
Miljø Isolering -1	40	50	< 10	0.43 ± 0.02	0.32 ± 0.02	117 ± 5	160 ± 8
Miljø Isolering -2 (u.salte)	40	110	< 5	0.76 ± 0.03	0.65 ± 0.03	143 ± 5	173 ± 7
Herawool NF 040 (u.støttefibre)	25	100	0	0.71 ± 0.05	0.60 ± 0.06	157 ± 13	187 ± 18
Heraflax SF 040	30	30	0	0.30 ± 0.03	0.19 ± 0.02	100 ± 7	160 ± 18
Rockwool A-batt	32	50	0	0.44 ± 0.05	0.33 ± 0.05	113 ± 12	157 ± 23
Glasuld 39	16	50	0	0.44 ± 0.02	0.33 ± 0.02	113 ± 6	157 ± 10

Note:

- Perlite er ekspanderet vulkansk aske, Ekofiber og Miljø Isolering er papirisoleringsprodukter, Herawool er fåreuld, Heraflax er hør
- Tykkelsen af et prøveemne er enten produkttykkelsen ved levering (Herawool, Heraflax, Rockwool og Glasuld) eller en tykkelse specificeret i /1/
- 1): Beregnet efter formel (1), jf. reference /1/, 2): korrigeret for luftlagstykkelse og overgangsmodstande, jf. formel (6) og (8)
- Værdier for fugtmodstandstal Z_p og permeabilitetskoefficienter δ_p er middelværdier ± spredning (af 3 prøveemner)
- Luftlagstykkelse i koppen er 15 mm, lufthastighed over koppen er 2.5 m/s
- Glasuld og Heraflax er leveret som rulleware



Figur 5 Sætning af materiale i kopforsøg.

Det viser sig at $Z_{p,e}$ er ca. halvt så stor for 50 mm materiale (Miljø Isolering -1) som for 110 mm materiale, når der korrigeres for fugtmodstanden i den tomme kop, svarende til at materialetykkelsen er ca. halvt så stor. $\delta_{p,e}$ er uafhængig af materialetykkelsen når der korrigeres for bidraget fra den tomme kop. Begge resultater viser, at det for sammenligning af opnåede værdier af vanddampermeabilitetskoefficienter ikke har nogen betydning, at der er anvendt forskellige materialetykkelser. De korrigerede værdier $Z_{p,e}$ og $\delta_{p,e}$ i appendix C stemmer overens med de tilsvarende værdier i tabel 2 for Miljø Isolering -1, svarende til at begge metoder (afsnit 3.2 og appendix C) kan benyttes til at korrigere for luftlagstykkelse og overgangsmodstande.

6. Diskussion

Kopmålingerne viser, at alle materialer er meget permeable overfor vanddamp. Perlite SC og Ekofiber Vind (65 kg/m^3) er de mindst åbne af de testede materialer, uanset om vådkop (tabel 2) eller tørkop (tabel 3) betragtes. Miljø Isolering med salte er det mest åbne materiale; omtrent dobbelt så åbent som de mindst åbne og svarende til permeabilitetskoefficienten for stillestående luft ($200 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{Pa m s})$ jf. /1/). Ekofiber Vind (40 kg/m^3) er ved vådkopforsøg lige så åbent som Miljø Isolering, mens det ikke er tilfældet ved tørkopforsøg, her synes altså at være en afhængighed af RF, om end der stadig er tale om en høj permeabilitetskoefficient.

Det skal noteres at spredningen på resultaterne i tabel 2 og 3 varierer en del og at den synes at være større ved vådkop- end ved tørkopmåling. Undtagelsen er Perlite SC (behandlet) hvor spredningen er på 40-50% ved tørkopmåling. Ved vådkopmåling er spredningen typisk 10-15%, mens den typisk er mindre end 10% ved tørkopmåling. Generelt afviger permeabilitetskoefficienten af de testede materialer ved tørkop højst 10-15% fra permeabilitetskoefficienten ved vådkop. Generelt er der tale om meget stabile forsøg, idet korrelationskoefficienten generelt er tæt på 1 (appendix A). Der er desuden tale om kortvarige forsøg, 3-4

døgn i alt. Af eksemplet i appendix B fremgår, at de stationære forhold indtræffer meget kort tid efter forsøget er sat i gang, hvilket er et resultat af materialets lille modstand mod fugtstrømning.

Resultaterne for mineraluld stemmer overens med producenternes oplysninger /5/ og resultater i /6/. I følge producenterne er permeabilitetskoefficienten ca. $100 \cdot 10^{-12}$ kg/(Pa m s) (Glasuld) og $140 \cdot 10^{-12}$ kg/(Pa m s) (Rockwool). I /6/ findes den til $(150 \pm 15) \cdot 10^{-12}$ kg/(Pa m s) for mineraluld med en vis afhængighed af den gennemsnitlige RF i materialet. I /7/ angives permeabilitetskoefficienten for cellulosefiberisolering til $120 \cdot 10^{-12}$ kg/(Pa m s) ved 75% RF og 21°C i materialet. Densiteten angives ikke. Værdien i /7/ svarer til resultatet for Ekofiber Vind med densitet 65 kg/m^3 (tabel 2).

Sætning af materialet under forsøget konstateres kun for løsfyldprodukter og er bortset fra måling på 50 mm lag af Miljø Isolering -2 (uden salte) på 5% eller mindre. For Ekofiber Vind registreres ingen sætning ved en densitet på 65 kg/m^3 hvilket stemmer overens med at materialet måtte pakkes meget tæt for at opnå en så høj densitet. En sætning af materialet betyder i realiteten at permeabilitetskoefficienten δ skal korrigeres for en gennemsnits-tykkelse under forsøget, idet permeabiliteten angives pr. tykkelsesenhed; denne korrektion er ikke udført i dette arbejde. Derimod har det ikke nogen betydning for fugtmodstandstallet Z_p , idet denne udtrykker materialets modstand for hele tykkelsen under et.

I rapporten om fugtbuffering /8/ diskuteres, hvorvidt den benyttede metode til bestemmelse af vanddamppermeabilitet overhovedet er egnet til at beskrive så porøse, dvs. åbne materialer som de undersøgte isoleringsmaterialer. Da det meste af materialet består af luft, vil den registrerede vægtændring som funktion af tiden i overvejende grad skyldes diffusion gennem luften, mens diffusion ind i / ud af / gennem fibre i materialet vil være forsvindende. Hvis ellers nettet af fibre i de enkelte materialer har omtrent samme fysiske opbygning, vil permeabiliteten blive den samme, uanset om materialet hedder fx fåreuld eller glasuld. Dette vil få betydning for vores forståelse af materialernes reaktion på daglige ændringer af relativ fugtighed i et hus. Et problem i denne forbindelse er ifølge /8/, at diffusionen gennem fibre er langt mere temperatuafhængig end diffusionen gennem luften.

7. Konklusion

Diffusionsforsøg viser, at alle de undersøgte produkter er meget åbne overfor vanddampdiffusion bestemt ved den standardiserede kopmetode, uden større forskel mellem organiske og uorganiske fibre. Ekofiber Vind (40 kg/m^3) og Miljø Isolering med salte er de mest åbne, svarende til permeabiliteten af stillestående luft. Ekofiber Vind (40 kg/m^3) og Miljø Isolering med salte er omtrent dobbelt så åbne som de mindst åbne, Perlite SC og Ekofiber Vind (65 kg/m^3).

8. Litteratur

- /1/ prEN ISO 12572 (1998). *Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties*. CEN/TC89/WG10 N230. European Committee for Standardization.
- /2/ Mullit P. (1993): *KOPLYSE ver.3.0. Program til analyse af måleresultater opsamlet i KOP-udstyr*. Teknisk Rapport 297/93, Lab. for Bygningsmaterialer, DTH.
- /3/ Hansen K.K. (1989): *Equipment for and results of water vapour transmission tests using cup methods*. Proc. ICHMT Symp. "Heat and Mass Transfer in Building Materials and Structures". September 4-8, Dubrovnik, Yugoslavia.
- /4/ Hansen, K.K. and Lund, H.B. (1990): *Cup method for determination of water vapour transmission properties of building materials. Sources of uncertainty in the method*. Proc. 2nd Symp. Building Physics in the Nordic Countries, Trondheim, 20-22 Aug 1990. pp. 291-298.
- /5/ Hansen, E.J. de Place (1999): *Produktionsprocesser og egenskaber for isoleringsmaterialer*. Del af "Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer". Serie R No.57, Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer (BKM), DTU.
- /6/ Andersson, A.C. (1985): *Verification of calculation methods for moisture transport in porous building materials*. Document D6:1985, Swedish Council for Building Research, Stockholm.
- /7/ Salonvaara M. (1992): *The effects of vapour transfer on heat flows through cellulose insulation*. Lab. of Heating and Ventilation, Technical Research Centre of Finland.
- /8/ Padfield T. (1999): *Humidity buffering of interior spaces by porous, absorbent insulation*. Part of "Hygrothermal properties of alternative insulation materials". Series R No.61, Dept. of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark.

Appendix A - Fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficienter - enkeltresultater

Tabel A1 Fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficienter ved 23°C og en RF-gradient: 50% - 94%. Enkelresultater.

Produkt	Densitet [kg/m ³]	Måle- periode [timer]	Oprindelig tykkelse [mm]	Sætning under prøvning [%]	Målekammer		Z_p 10 ⁹ (Pa s m ²) / kg	δ_p 10 ⁻¹² kg / (Pa m s)	Korrelations- koefficient		
					RF [%]	T [°C]				Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2)
Perlite SC (behandlet)	85	69	110	0	50.6	23.1	1.15	1.03	90	100	-0.9986
								1.17	80	90	-0.9986
								0.87	100	120	-0.9994
Ekofiber Vind	40	68	110	< 5	51.4	23.0	0.69	0.58	160	190	-0.9976
								0.54	170	200	-0.9965
								0.50	180	220	-0.9982
Ekofiber Vind	65	67	110	0	50.0	23.0	1.16	1.04	90	110	-0.9970
								1.00	100	110	-0.9975
								1.05	90	110	-0.9951
Miljø Isolering -1 (med salte)	40	69	110	5	50.1	23.3	0.68	0.56	160	200	-0.9986
								0.56	160	200	-0.9994
								0.41	210	270	-0.9998
Miljø Isolering -1 (med salte)	40	70	50	< 10	50.4	23.2	0.45	0.33	110	150	-0.9996
								0.28	130	180	-0.9994
								0.37	100	130	-0.9993
Miljø Isolering -2 (uden salte)	40	92	110	< 5	51.5	23.1	0.74	0.63	150	180	-0.9985
								0.55	170	200	-0.9855
								0.80	120	140	-0.9981

(fortsættes)

Tabel A1 (fortsat) Fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficienter ved 23 °C og en RF-gradient: 50% - 94%. Enkelresultater.

Produkt	Densitet [kg/m ³]	Måle- periode [timer]	Oprindelig tykkelse [mm]	Sætning under prøvning [%]	Målekammer		Z_p 10 ⁹ (Pa s m ²) / kg	δ_p 10 ¹² kg / (Pa m s)		Korrelations- koefficient								
					RF [%]	T [°C]		Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2)		Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2)						
Herawool NF 040 (u.støttrefibre)	25	91	100	0	49.9	23.1	0.79	0.67	140	160	-0.9990							
												100	0	0.81	0.69	140	160	-0.9954
Heraflax SF 040	30	69	30	0	49.9	22.8	0.27	0.16	110	190	-0.9995							
												30	0	0.17	0.05	170	550 *	-0.9998
Rockwool A-batt	32	69	50	0	50.9	23.1	0.38	0.27	130	190	-0.9998							
												50	0	0.35	0.23	140	210	-0.9993
Glasuld 39	16	93	50	0	49.5	23.0	0.42	0.30	120	160	-0.9996							
												50	0	0.28	0.17	180	300 *	-0.9977

Note:

- Perlite er ekspanderet vulkansk aske, Ekofiber og Miljø Isolering er papiruldprodukter, Herawool er fåreuld, Heraflax er hør
- Tykkelsen af et prøveemne er enten produkttykkelsen ved levering (Herawool, Heraflax, Rockwool og Glasuld) eller en tykkelse specificeret i /1/
- Sætning regnes i % af oprindelig tykkelse
- 1): Beregnet efter formel (1), jf. reference /1/, 2): korrigeret for luftlagstykkelse og overgangsmodstande, jf. formel (6) og (8)
- Samtlige værdier for fugtmodstandstal Z_p og permeabilitetskoefficienter δ_p benyttes til beregning af middelværdier og spredning, bortset fra værdier mærket *. Disse vurderes at være fejlbehæftede, idet de skal sammenholdes med permeabilitetskoefficienten for stillestående luft (200 10¹² kg / (Pa m s)) jf. /1/
- Korrelationskoefficienten udtrykker i hvor høj grad masseændringen forløber retlinet som funktion af tiden
- Luftlagstykkelse i koppen er 15 mm, lufthastighed over kopperne er 2.5 m/s
- Heraflax og Glasuld leveres som rullevarer

Tabel A2 Fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficienter ved 23°C og en RF-gradient: 50% - 1%. Enkeltresultater.

Produkt	Densitet [kg/m ³]	Måle- periode [timer]	Oprindelig tykkelse [mm]	Sætning under prøvning [%]	Målekammer RF [%]	T [°C]	Z _p 10 ⁹ (Pa s m ²) / kg		δ _p 10 ¹² kg / (Pa m s)		Korrelations- koefficient
							Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2)	Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2)	
Perlite SC (behandlet)	85	69	110	0	50.6	23.1	0.95	0.83	110	120	0.9994
								0.50	160	200	0.9960
								1.34	70	70	0.9998
Ekofiber Vind	40	68	110	< 5	51.4	23.0	0.84	0.72	130	150	0.9999
								0.68	140	160	0.9999
								0.71	130	150	0.9997
Ekofiber Vind	65	67	110	0	50.0	23.0	0.95	0.83	120	130	0.9994
								0.86	110	130	0.9991
								0.85	110	130	0.9994
Miljø Isolering -1 (med salte)	40	69	110	5	50.1	23.3	0.62	0.50	180	220	0.9990
								0.56	160	200	0.9990
								0.37	230	300 *	0.9957
Miljø Isolering -1 (med salte)	40	70	50	< 10	50.4	23.2	0.45	0.34	110	150	0.9998
								0.30	120	160	0.9994
								0.31	120	160	0.9998
Miljø Isolering -2 (uden salte)	40	92	110	< 5	51.5	23.1	0.78	0.66	140	170	0.9997
								0.67	140	160	0.9998
								0.62	150	180	0.9997

(fortsættes)

Tabel A2 (fortsat) Fugtmodstandstal og vanddamppermeabilitetskoefficienter ved 23 °C og en RF-gradient: 50% - 1%. Enkeltræsultater.

Produkt	Densitet [kg/m ³]	Måle- periode [timer]	Oprindelig tykkelse [mm]	Sætning under prøvning [%]	Målekammer		$Z_p \cdot 10^9$ (Pa s m ²) / kg	$\delta_p \cdot 10^{12}$ kg / (Pa m s)		Korrelations- koefficient								
					RF [%]	T [°C]		Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2)		Værdier ifølge standard 1)	Korrigerede værdier 2)						
Herawool NF 040 (u. støttestof)	25	91	100	0	49.9	23.1	0.65	0.53	170	210	0.9990							
												100	0	0.73	0.62	150	180	0.9999
Heraflax SF 040	30	69	30	0	49.9	22.8	0.30	0.18	100	160	0.9972							
												30	0	0.28	0.17	110	180	0.9976
Rockwool A-batt	32	69	50	0	50.9	23.1	0.48	0.37	100	140	0.9997							
												50	0	0.46	0.34	110	150	0.9994
Glasuld 39	16	93	50	0	49.5	23.0	0.46	0.34	110	150	0.9998							
												50	0	0.45	0.34	110	150	0.9983

Note:

- Perlite er ekspanderet vulkansk aske, Ekofiber og Miljø Isolering er papiruldprodukter, Herawool er fåreuld, Heraflax er hør
- Tykkelsen af et prøveemne er enten produkttykkelsen ved levering (Herawool, Heraflax, Rockwool og Glasuld) eller en tykkelse specificeret i /1/
- Sætning regnes i % af oprindelig tykkelse
- 1): Beregnet efter formel (1), jf. reference /1/, 2): korrigeret for luftlagtykkelse og overgangsmodstande, jf. formel (6) og (8)
- Samtlige værdier for fugtmodstandstal Z_p og permeabilitetskoefficienter δ_p benyttes til beregning af middelværdier og spredning, bortset fra værdier mærket *. Disse vurderes at være fejlbehæftede, idet de skal sammenholdes med permeabilitetskoefficienten for stillestående luft (200 10⁻¹² kg / (Pa m s)) jf. /1/
- Korrelationskoefficienten udtrykkes i hvor høj grad masseændringen forløber retlinet som funktion af tiden
- Luftlagtykkelse i koppen er 15 mm, lufthastighed over koppen er 2.5 m/s
- Heraflax og Glasuld er leveret som rullevarer

Appendix B

Rapport over kopforsøg med Heraflax SF 040 (hør) - materialetykkelse 30 mm

Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer · Danmarks Tekniske Universitet

Dep. of Structural Engineering and Materials · Technical University of Denmark

Bygning 118 · DK-2800 Lyngby · telefon 45 93 43 31 · telephone +45 45 93 43 31 · telefax 45 88 67 53

RESULTAT AF KOPMÅLINGER

Rekvirent : Alternativ isolering

Kontaktperson : .

Forsøgsleder : EdP

Laborant : BR, UGJ

Periode : 12. til 15. januar 1999

BKM serienr. : 220

Prøvekammer : Temperatur : 22.83 °C
Relativ luftfugt. : 49.91 %RF
Lufthastighed : 2.52 m/s
Atmosfæretryk : 986.41 hPa
Det angivne klima i prøvekammeret er middelværdier.

Eff.areal (mm²) : 25447.00

Fugtmodstandstal

$Z_p = A \cdot \delta p / \alpha$ (Pa·s·m²/kg) δp : Damptryksforskelle over prøveemne.
 α : Hældningen af masseændringskurven.
 A : Areal af prøveemne.
 T : Temperatur i Kelvin.

$Z_c = Z_p / (462 \cdot T)$ (s/m)

Permeabilitet

$\delta p = L / Z_p$ (kg/Pa·s·m) L : Tykkelse af prøveemne.
 $D_c = 462 \cdot T \cdot \delta p$ (m²/s)

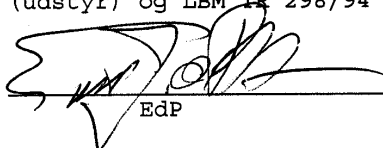
Kommentarer:

Luftlag i kop (mm): 15.00

Prøvning udført i henholdt til:

LBM TR 179/88 (udstyr) og LBM TR 298/94 (beregningsprogram)

Forsøgsleder :


EdP

Data for de enkelte kopper findes på næste side.

Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer · Danmarks Tekniske Universitet
Dep. of Structural Engineering and Materials · Technical University of Denmark

Bygning 118 · DK-2800 Lyngby · telefon 45 93 43 31 · telephone +45 45 93 43 31 · telefax 45 88 67 53

RESULTAT AF KOPMÅLINGER

Kop	Prøveemne	Tykkelse	RF i kop	Modstand		Permeabilitet	
		L		Zp	Zc	δp	Dc
		mm	%	$\cdot 10^9$ Pa · s · m ² /kg	s/m	$\cdot 10^{-9}$ kg/Pa · s · m	$\cdot 10^{-9}$ m ² /s
1	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	0.300528	2197.77	0.09982	13650.2
2	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	0.282874	2068.67	0.10605	14502.1
3	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	0.325310	2379.01	0.09222	12610.3
4	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	0.273003	1996.48	0.10989	15026.4
5	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	0.171542	1254.49	0.17488	23914.1
6	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	0.393740	2879.44	0.07619	10418.7

Bemærkninger:

Værdier er ukorrigerede.

Datafiler: SERIE220.DAT
SERIE220.REC

Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer · Danmarks Tekniske Universitet
Dep. of Structural Engineering and Materials · Technical University of Denmark

Bygning 118 · DK-2800 Lyngby · telefon 45 93 43 31 · telephone +45 45 93 43 31 · telefax 45 88 67 53

RESULTAT AF KOPMÅLINGER

Kop	Prøveemne	Tykkelse	RF	Modstand		Permeabilitet	
		L	i kop	Zp	Zc	δp	Dc
		mm	%	$\cdot 10^9$ Pa·s·m ² /kg	s/m	$\cdot 10^{-9}$ kg/Pa·s·m	$\cdot 10^{-9}$ m ² /s
1	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	0.300595	2198.26	0.09980	13647.1
2	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	0.282937	2069.13	0.10603	14498.8
3	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	0.325382	2379.53	0.09220	12607.5
4	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	0.273064	1996.93	0.10986	15023.1
5	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	0.171580	1254.77	0.17485	23908.8
6	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	0.393828	2880.08	0.07618	10416.4

Bemærkninger:

Værdier er korrigeret for "Masked-Edge-Effect".

Datafiler: SERIE220.DAT
SERIE220.REC

RESULTAT AF KOPMÅLINGER

Kop	Prøveemne	Tykkelse L	RF i kop %	Modstand		Permeabilitet	
				Zp ·10 ⁹ Pa·s·m ² /kg	Zc s/m	δp ·10 ⁻⁹ kg/Pa·s·m	Dc ·10 ⁻⁹ m ² /s
1	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	0.183858	1344.56	0.16317	22312.1
2	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	0.166201	1215.43	0.18050	24682.6
3	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	0.208646	1525.83	0.14378	19661.4
4	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	0.156327	1143.23	0.19191	26241.5
5	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	0.054843	401.07	0.54702	74800.1
6	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	0.277091	2026.38	0.10827	14804.7

Bemærkninger:

Værdier ovenfor er rene materialeleværdier, der er korrigeret for "Masked-Edge-Effect", luftlagstykkelse og overgangsmodstande på prøvens to sider.

Datafiler: SERIE220.DAT
SERIE220.REC

RESULTAT AF KOPMÅLINGER

Kop	Prøveemne	Tykkelse	RF i kop	RF luft	RF underside	RF overside	RF middel
		L					
		mm	%	%	%	%	%
1	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	14.22	18.48	48.34	49.91
2	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	15.03	19.57	48.24	49.91
3	Hør (Heraflax)	30.00	1.10	13.22	17.16	48.46	49.91
4	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	80.96	76.72	51.48	49.91
5	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	73.25	66.49	52.40	49.91
6	Hør (Heraflax)	30.00	94.00	84.96	82.02	51.00	49.91

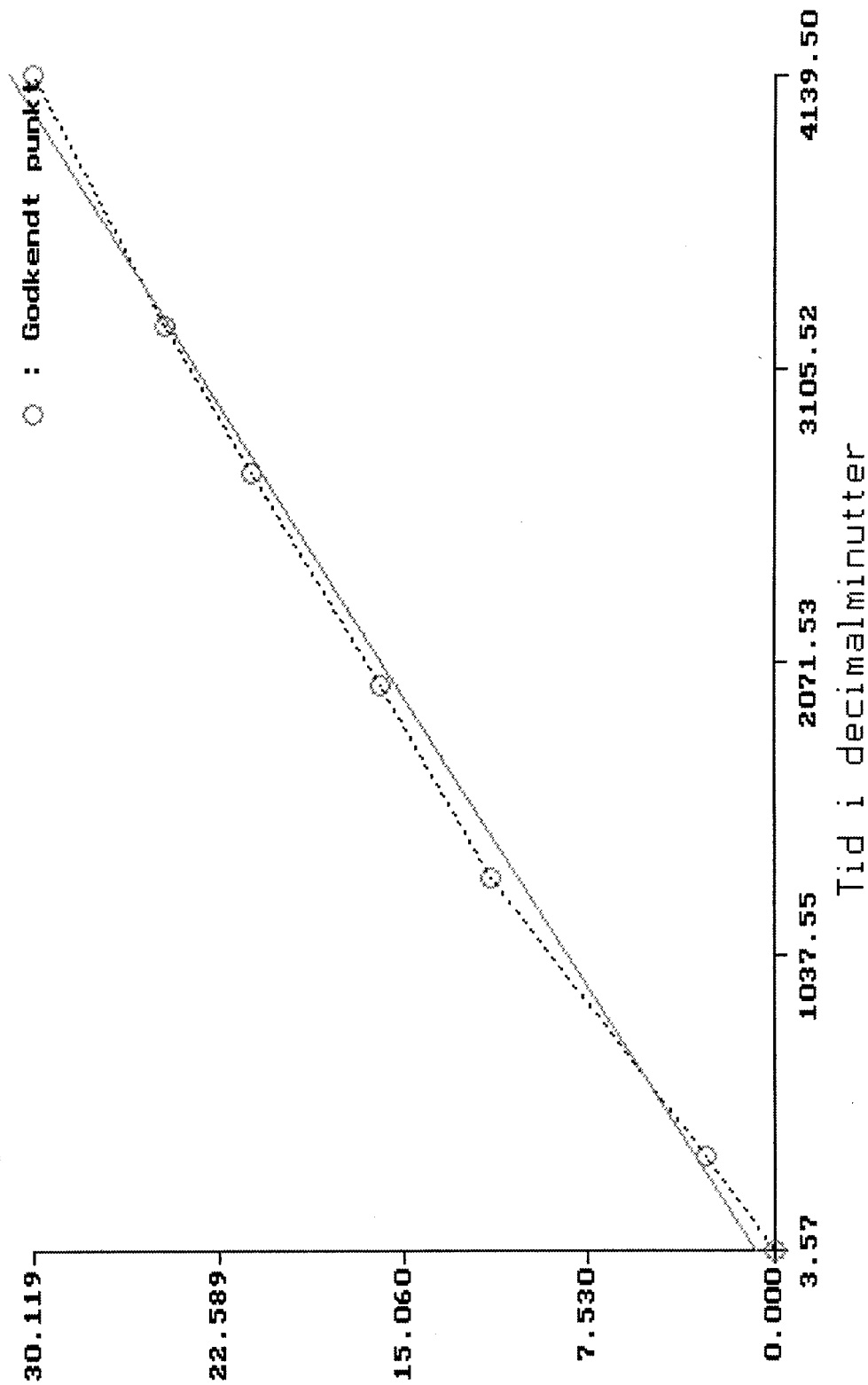
Bemærkninger:

RF-værdier er korrigeret for "Masked-Edge-Effect", luftlagstykkelse og overgangsmodstande på prøvens to sider.

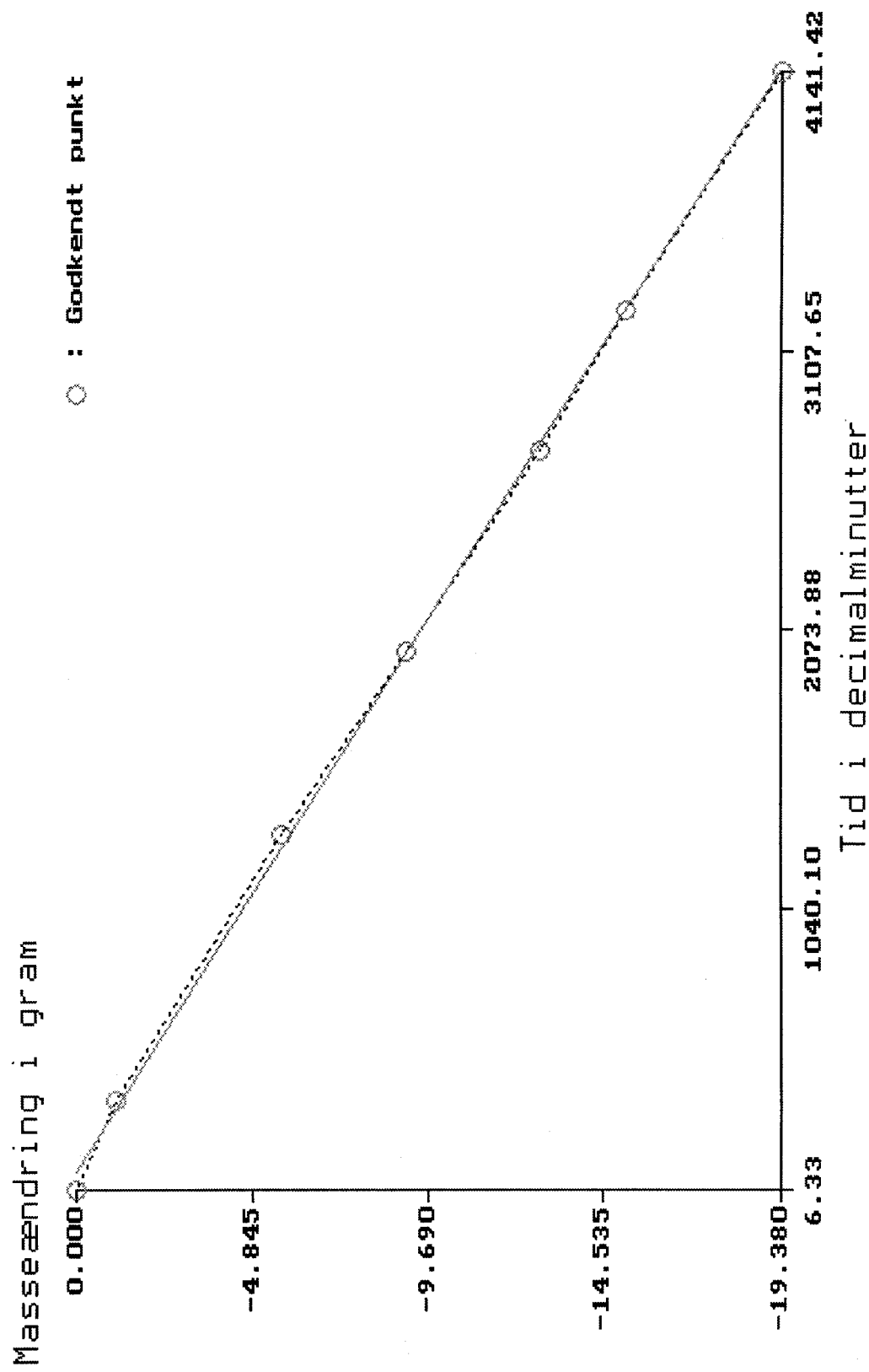
Datafiler: SERIE220.DAT
SERIE220.REC

Materiale : Hør (Heraflax)
Kopnummer : 2 Korr.koef. : 0.9976
Liniens hældning : 0.0073281 g/minut
Zp : 0.2829 GPa*s*m²/kg

Masseændring i gram



Materiale : Hør (Heraflax)
Kopnummer : 6 Korr.koef. : -0.9997
Liniens hældning : -0.0047550 g/minut
Zp : 0.3937 GPa*s*m²/kg



Appendix C - Betydning af materialetykkelse for fugtmodstandstal og vanddamp-permeabilitetskoefficient

Til overslagsberegninger af, hvorvidt materialetykkelsen har betydning for vanddamppermeabilitetskoefficienten benyttes middelværdier for målte fugtmodstandstal Z_p fra målinger på tomme kopper samt Miljø Isolering med salte, materialetykkelse 110 mm og 50 mm.

Tomme kopper	(BKM serie 214)
Miljø Isolering med salte, prøvetykkelse $L = 110$ mm	(BKM serie 213b)
Miljø Isolering med salte, prøvetykkelse $L = 50$ mm	(BKM serie 215)

Fugtmodstandstal:

$$\text{Tom kop:} \quad Z_p = 0.12 (\pm 0.03) \cdot 10^9 \text{ Pa s m}^2 / \text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{110 mm materiale:} \quad Z_p &= 0.62 \cdot 10^9 \text{ Pa s m}^2 / \text{kg} \\ \text{Efter fradrag for tom kop:} \quad Z_{p,e} &= (0.62-0.12) \cdot 10^9 \text{ Pa s m}^2 / \text{kg} \\ &= \mathbf{0.50 \cdot 10^9 \text{ Pa s m}^2 / \text{kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{50 mm materiale:} \quad Z_p &= 0.44 \cdot 10^9 \text{ Pa s m}^2 / \text{kg} \\ \text{Efter fradrag for tom kop:} \quad Z_{p,e} &= (0.44-0.12) \cdot 10^9 \text{ Pa s m}^2 / \text{kg} \\ &= \mathbf{0.32 \cdot 10^9 \text{ Pa s m}^2 / \text{kg}} \end{aligned}$$

Vandamppermeabilitetskoefficient, $\delta_{p,e}$ efter korrektion:

$$\begin{aligned} \text{110 mm materiale:} \quad \delta_{p,e \text{ 110 mm}} &= L / Z_{p,e} = 0.11 \text{ m} / 0.50 \cdot 10^9 \text{ Pa s m}^2 / \text{kg} \\ &= \mathbf{220 \cdot 10^{-12} \text{ kg} / (\text{Pa s m})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{50 mm materiale:} \quad \delta_{p,e \text{ 50 mm}} &= L / Z_{p,e} = 0.05 \text{ m} / 0.32 \cdot 10^9 \text{ Pa s m}^2 / \text{kg} \\ &= \mathbf{156 \cdot 10^{-12} \text{ kg} / (\text{Pa s m})} \end{aligned}$$

$Z_{p,e}$ er ca. halvt så stor for 50 mm materiale som for 110 mm materiale når der korrigeres for fugtmodstanden i den tomme kop, svarende til at materialetykkelsen er halvt så stor.

$\delta_{p,e}$ er uafhængig af materialetykkelsen når der korrigeres for bidraget fra den tomme kop.

Begge resultater viser, at det for sammenligning af opnåede værdier af vanddamp-permeabilitetskoefficienter ikke har nogen betydning, at der er anvendt forskellige materialetykkelser.

PPINSTITUT FOR BÆRENDE KONSTRUKTIONER OG MATERIALER
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

Department of Structural Engineering and Materials P
Technical University of Denmark, DK – 2800 Lyngby

SERIE R

(Tidligere: Rapporter)

- R 37. WILLIAM E. WARREN OG ESBEN BYSKOV: Micropolar and Nonlocal effects in Spatially Periodic, Two – Dimensional Structures. 1997.
- R 38. NIELSEN, LAUGE FUGLSANG: Modified Dugdale Crack Models. 1998.
- R 39. POULSEN, JOHANNES SAND: Compression in Clear Wood. 1998.
- R 40. COLLETTE, FRÉDÉRIC S.: A Combined Tuned Absorber and Impact Damper. 1998
- R 41. ZHANG, JUN.: Fatigue Fracture of Fibre Reinforced Concrete-An Experimental and Theoretical Study.
- R 42. OLSEN, DAVID HOLKMANN: Concrete Fracture and Crack Growth A Fracture Mechanocs Approach 1998
- R 43. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE: Determination of te Fracture Energy of Concrete- Comparison of te TPBT and theWST Method 1998
- R 44. NIELSEN, LAUGE FUGLSANG: Modified Dugdale cracks and Fictitious cracks
- R 45. CHRISTIANSEN, MORTEN BO: Crack Tip Stress Field Modelling 1998
- R 46. JENSEN, MEJLHEDE OLE: Clinker mineral hydration at reduced relative humidities
- R 47. JENSEN, MEJLHEDE OLE: Influence of temperature on autogenous deformation and RH-change in hardening cement paste
- R 48. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE: Holdbarhed af fiberarmeret beton og revnet beton. 1998.
- R 49. LANGE-HANSEN, P.: Comparative Study of Upper Bound Methods for the Calculation of Residual Deformations after Shakedown. 1998.
- R 50. KELLEZI, LINDITA: Dynamic Soil-Structure-Interaction. Transmitting Boundary for Transient Analysis. 1998.
- R 51. MEJLHEDE JENSEN, OLE: Chloride ingress in cement paste and mortar measured by Electronic Probe Micro Analysis. 1999
- R 52. KLENZ LARSEN, POUL: Desalination of painted brick vaults. 1999
- R 53. GERMAN HAGSTEN, LARS. GUDMAN-HØYER, TIM. ZENKE HANSEN, LARS OG NIELSEN, M.P: Eksperimentel bestemmelse af teglbjælkens bæreevne. 1999
- R 54. PADFIELD, TIM: The Role of Absorbent Building Materials in moderating changes of Relative Humidity. 1999
- R 55. TEOH, B.K., HOANG, L.C. OG NIELSEN, M.P.: Shear Strength of Concrete I-Beams- Contributions of Flanges. 1999
- R 56. WEIQING, LIU. NIELSEN, M.P. DAJUN,DING: Experimental Study on the Shear Transfer Across Cracks in Reinforced Concrete. 1999
- R 57. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE: Produktionsprocesser og hygrotermiske egenskaber for isoleringsmaterialer - Leverandør/producentoplysninger. Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternativ isoleringsmaterialer. 1999
- R 58. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE OG HANSEN, KURT KIELSGAARD: Sorptionsisotermer. Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer. 1999